

# Método cualitativo rápido para la detección de cemento aluminoso en hormigones\*

1ª. parte

Dr. GABRIEL CORTÉS JAUME, Jefe de la Unidad de Análisis Químicos.  
ISABEL CABOT CASTANYER, Auxiliar de Laboratorio.  
Laboratori per a la Qualitat de l'Edificació (Servei d'Arquitectura i Vivenda).  
Conselleria d'Obres Públiques i Ordenació del Territori. Govern Balear

Fecha de recepción: 24-IX-93

PALMA DE MALLORCA/ESPAÑA

## INTRODUCCIÓN

En el estudio de elementos estructurales de hormigón, ante la posible presencia de cemento aluminoso en los mismos, se han estado buscando métodos cualitativos de análisis para conseguir su detección de una manera fácil, segura y rápida.

La experiencia, con todo, ha demostrado que los métodos por vía química utilizados hasta ahora, no sólo no manifiestan una fiabilidad suficiente sino que, además, precisan, casi siempre, de otros ensayos complementarios

Uno de estos métodos cualitativos, quizás el más utilizado, es el de la "oxina" (8-hidroxiquinolina), que reacciona con el aluminio formando un complejo insoluble amarillo [1,2]. Sin embargo, en la práctica, los resultados de su aplicación pueden verse falseados por una serie de factores interferentes (carbonatación del cemento, presencia de sulfatos, existencia de áridos "aluminosos", baja dosificación en cemento, ...) que obligan a que, como mínimo, el ensayo deba ser realizado por personal experimentado.<sup>1</sup>

Con el fin de aportar soluciones a estos problemas, se propone este nuevo método de detección de cemento aluminoso en el hormigón.

## FUNDAMENTO DEL MÉTODO

Además de su distinta concentración en aluminio, una diferencia significativa entre el cemento aluminoso y el pórtland está en su contenido en hierro; del orden de un 16 % y un 3% en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , respectivamente [3].

Por consiguiente, puede suponerse, de principio, que una cuantificación de este metal en un hormigón dará una idea de la presencia o no de cemento aluminoso en el mismo. En este hecho se basa el nuevo método propuesto.

En medio clorhídrico en gran exceso el  $\text{Fe(III)}$  forma, incluso en frío, el conocido clorocomplejo soluble de color amarillo. En cambio, en proporciones de  $\text{HCl:Fe}$  menores -a consecuencia, por ejemplo, de una mayor concentración en metal, como es el caso del cemento aluminoso- la velocidad de formación del complejo amarillo es más baja (al existir, al principio, menor proporción de  $\text{Fe(III)}$ ), aunque aumenta apreciablemente con la temperatura. La disolución fría inicial, en este caso, adquiere una coloración verde [4].

Por otra parte, en medio alcalino fuerte y en presencia de carbonatos en disolución, el  $\text{Fe(III)}$  da lugar a la formación de carbonatos básicos insolubles de color variable entre pardo y naranja; en caliente se acelera

(\*) Un resumen de la primera y segunda partes presentado, como ponencia, en el "Coloquio sobre Durabilidad del Hormigón. I.-Identificación de la presencia de Cemento Aluminoso en Hormigones". Instituto de Ciencias de la Construcción "Eduardo Torroja"(CSIC). Madrid, 2 de febrero de 1993.

significativamente la reacción. En el caso concreto del hormigón, en estas condiciones se forman, además, grandes cantidades de carbonato cálcico, blanco, con lo que las coloraciones atribuidas al hierro sólo son perceptibles cuando existen proporciones importantes del ion metálico; circunstancia ésta que se da en presencia de cemento aluminoso.

## TOMA Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Ante la posibilidad de obtener resultados engañosos, en hormigones “aluminosos” con muy baja dosificación en cemento o en hormigones de cemento pórtland con áridos ferrosos, si se tomara una muestra representativa del total del hormigón, debe aplicarse el método de análisis propuesto directamente sobre la “pasta” del mismo; o sea, sobre la zona rica en mezcla cemento-arena. Y siempre, como es lógico, en muestras exentas totalmente de contaminación férrica procedente de las armaduras.

En consecuencia, la toma de muestra tiene que realizarse del modo siguiente:

- a) Obtener uno o varios trozos de hormigón seco del elemento a analizar.
- b) Eliminar totalmente los posibles restos de materiales ajenos al hormigón.
- c) Con cuidado -por ejemplo, con unos alicates de mandíbulas estrechas-, coger la cantidad suficiente de “pasta” de entre los intersticios del árido, evitando las zonas con manchas o residuos de óxido de las armaduras. La misma herramienta puede servir, a su vez, para triturar la muestra recogida.

## REACTIVOS

Todos los reactivos que intervienen en las disoluciones utilizadas en la aplicación del método de análisis, son de calidad “para análisis” (PA).

Estas disoluciones se preparan de la siguiente manera:

*-Disolución de ácido clorhídrico del 50% (v/v):* En un recipiente de vidrio provisto de tapón, se adicionan 50 ml de ácido clorhídrico concentrado del 37% ( $d = 1,19$ ) y 50 ml de agua destilada.

*-Disolución de carbonato sódico-hidróxido sódico:* En unos 70 ml de agua destilada se disuelven 20 g de carbonato sódico anhidro y 7 g de hidróxido sódico del 97% (lentejas). Una vez obtenida la disolución, se

transvasa a un matraz aforado de 100 ml y se enrasa con agua destilada. Se conserva en recipiente de plástico.

## METÓDICA OPERATORIA

En un tubo de ensayo de 25 ml se introduce una cantidad aproximada de 0,5 a 1 g de muestra de “pasta” de hormigón, recogida y preparada según se ha indicado anteriormente.

Se añaden cuidadosamente 4 ml de la disolución de ácido clorhídrico; se agita suavemente y se observa el color que va tomando la disolución. Después, se deja reposar en un baño con agua próxima a la ebullición, para completar el ataque de la muestra y que se deposite todo posible residuo en el fondo del tubo.<sup>2</sup>

Se decanta -o se filtra- la disolución clorhídrica sobre otro tubo de ensayo y se añaden, lentamente y agitando, 10 ml de la disolución de  $\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{NaOH}$  y unas gotas de agua oxigenada de 10 vol. Se tapa el tubo, se agita enérgicamente durante 30 segundos y se deja reposar (unos 5 minutos) en el baño de agua caliente. Finalmente, se toma nota de la coloración del precipitado formado.

## RESULTADOS

Realizando el ensayo según el método operatorio indicado, se obtendrá uno de los dos resultados siguientes:

-Un color VERDE de la disolución clorhídrica inicial, junto con un precipitado PARDO o PARDO-NARANJA con carbonato/hidróxido sódico: indican la PRESENCIA de cemento aluminoso en el hormigón.

-Un color AMARILLO de la disolución clorhídrica y un precipitado BLANCO o AMARILLO MUY PALIDO con carbonato/hidróxido sódico: indican la AUSENCIA de cemento aluminoso en el hormigón.

## DISCUSIÓN

Ya que el método propuesto se basa en el estudio de reacciones del hierro contenido en el cemento aluminoso, es de suponer que cualquier aportación de este elemento ajena a dicho cemento falsearía los resultados. En consecuencia, deberían tomarse ciertas precauciones en el momento de aplicar el método.

- a) Ante el caso de la existencia en el hormigón de áridos con un contenido importante en hierro, habría que extremar el cuidado en la recogida de muestra, asegurando al máximo que la mayor parte de la misma fuera cemento o cemento-arena.<sup>3</sup>

b) En presencia de hormigones con adiciones de muy elevada concentración en hierro (escorias, cenizas volantes,...), caso muy raro en la práctica<sup>4</sup>, sería conveniente utilizar otros métodos complementarios, como, por ejemplo, la determinación de la concentración total de aluminio en el hormigón<sup>5</sup>, o un estudio por Difracción de Rayos X.

Considerando las salvedades y precisiones indicadas, en todos los demás casos, utilizando únicamente este nuevo método cualitativo, se pueden dictaminar conclusiones sobre la presencia o no de cemento aluminoso en un hormigón con una elevada seguridad.<sup>6</sup> Además, para muestras equivalentes del mismo hormigón, la reproducibilidad y repetitividad del método son totales.

Por otra parte, mediante este método no deben aparecer, como es lógico, los errores que se obtienen al aplicar métodos cualitativos basados en reacciones con el aluminio -caso del método de la "oxina", por ejemplo- a hormigones con áridos "aluminosos".

## CONCLUSIONES

Se presenta, por tanto, un método de análisis cualitativo para detectar la presencia de cemento aluminoso en hormigones, el cual se caracteriza, fundamentalmente, por las siguientes ventajas:

- Es de sencilla y fácil aplicación.
- Permite, si se desea, su utilización "a pie de obra".
- No precisa operarios experimentados.
- Proporciona rapidez en la obtención del resultado final (5-10 minutos, incluyendo la toma de muestra).

-Lleva inherente una muy elevada fiabilidad en las decisiones, que hace innecesarios otros ensayos complementarios.

-Se observa una total ausencia de interferencias<sup>7</sup>, si se tienen en cuenta las sencillas precauciones antes indicadas.

-Resulta de muy bajo coste, puesto que no se utilizan ni instrumental ni reactivos sofisticados.

## NOTAS

(1) Aplicado el método sobre 225 muestras se obtiene una fiabilidad del 84,0%.

(2) Normalmente, al calentar una disolución clorhídrica de color verde se produce un cambio de color de la misma hacia el amarillo. Este efecto no debe tomarse en consideración, ya que la coloración que interesa, a efectos del ensayo, es siempre la adquirida por la disolución fría inicial.

(3) Se pueden considerar despreciables los posibles contenidos en hierro de la arena y del árido más fino de la "pasta" del hormigón.

(4) Teniendo en cuenta que el método de análisis se ha puesto a punto, sobre todo con el fin de ser aplicado a viguetas armadas prefabricadas, es muy difícil encontrar, en estos elementos constructivos, hormigones de este tipo.

(5) 2ª parte, pág. 32.

(6) Habiendo aplicado el método sobre 144 muestras no se obtuvo ningún resultado en desacuerdo.

(7) A diferencia del método de la "oxina", este método es totalmente efectivo en presencia de sulfatos y cuando existe carbonatación.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Building Research Establishment, CP34, (1975).
- [2] KOLTHOFF, I.M.; SANDELL, E.B.; "Tratado de Química Analítica Cuantitativa", págs. 388-389. Ed. Nigar. Buenos Aires (1965).
- [3] TALERO, R.; TRIVIÑO, F.; PALACIOS, J.; DÍAZ, F.; "Materiales de Construcción", (1989).
- [4] COTTON, F.A.; WILKINSON, G.; "Química Inorgánica Avanzada", pág. 891. Ed. Limusa. México. (1975).

.../...

# Método gravimétrico para la determinación de aluminio en hormigones.

## Aplicabilidad a la detección de cemento aluminoso.

### 2ª. parte

#### INTRODUCCIÓN

Los métodos gravimétricos clásicos utilizados en la determinación de aluminio en cementos, morteros y hormigones constan, en general, de dos procesos de análisis: [1]

1) La determinación gravimétrica conjunta de hierro y aluminio.

2) La cuantificación, normalmente a través de un método complexométrico, del hierro contenido en una muestra equivalente.

La concentración de aluminio se obtiene por diferencia entre las concentraciones deducidas en cada uno de los dos procesos.

Al ser necesarias dos determinaciones, estos métodos gravimétricos resultan lentos y engorrosos, y suelen estar sujetos a mayores errores que los métodos directos y simples.

Por todo ello, se presenta un nuevo método gravimétrico para la determinación directa de aluminio que resulta más rápido y más preciso que los métodos convencionales, puesto que consta de un solo proceso de análisis.

Ante la aparición de patologías en la edificación claramente atribuibles a la presencia de cemento aluminoso -sobre todo en viguetas armadas-, se ha estado investigando últimamente, en nuestro Laboratorio, sobre métodos de análisis que, evitando la utilización de técnicas "sofisticadas" (como DRX, ATG, ATD, ...), no siempre asequibles económicamente, permitieran detectar la presencia de este cemento de una manera fácil, segura, rápida y con un bajo coste.<sup>1</sup>

Hasta ahora, dentro de este tipo de métodos "baratos" de análisis, quizás el más utilizado haya sido el cualitativo de la "oxina" (8-hidroxiquinolina), que forma con el aluminio un complejo insoluble amarillo [2,3]. Sin embargo, en la práctica, los resultados de su aplicación se ven afectados por una serie de factores interferentes (carbonatación del cemento, presencia de sulfatos, existencia de áridos "aluminosos", baja dosificación en cemento, . . . ) los cuales obligan a que, como mínimo, el ensayo deba ser realizado por personal experimentado.

Con la intención de aportar soluciones a estos problemas, se propone, en particular, la utilización de este nuevo método gravimétrico para detectar la presencia o no de cemento aluminoso en hormigones, en base a los contenidos en aluminio deducidos.

#### FUNDAMENTO DEL MÉTODO

El método gravimétrico propuesto consta de los siguientes procesos consecutivos:

a) Ataque y disolución de la muestra mediante ácido clorhídrico.

b) Por disgregación en disolución de carbonato sódico/hidróxido sódico, separación por precipitación de los metales más importantes y que tienen mayor probabilidad de interferencia (principalmente el hierro), y, aprovechando el carácter anfótero del aluminio en este medio fuertemente alcalino, aislamiento de este elemento en disolución, como especie química aniónica.<sup>2</sup>

c) Previa neutralización de la disolución alcalina, precipitación del aluminio, en medio amoniacal, como óxido hidratado.

d) Finalmente, calcinación del precipitado y pesada como  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

## TOMA Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La toma de muestra se realiza del modo siguiente:

a) Obtener uno o varios trozos secos de hormigón del elemento constructivo a analizar, de manera que pueda considerarse una muestra perfectamente representativa.

b) Eliminar totalmente los posibles restos de materiales ajenos al hormigón (enlucidos de yeso, manchas e incrustaciones de óxido de las armaduras, otros morteros,...).

c) Romper la muestra en porciones pequeñas (por ejemplo, mediante una machacadora de mandíbulas) y completar la trituration con un molino de ágata, hasta la consecución de un polvo fino homogéneo.

d) Durante 3 horas como mínimo, secar la muestra pulverizada en una estufa a  $105^\circ - 110^\circ\text{C}$ .

e) Dejar enfriar en un desecador con gel de sílice.

## REACTIVOS

Todos los reactivos utilizados en la aplicación de este método de análisis son de calidad "para análisis" (PA).

Las disoluciones se preparan de la siguiente manera:

-*Disolución de ácido clorhídrico del 50% (v/v)*: En un recipiente de vidrio provisto de tapón, se adicionan 500 ml de ácido clorhídrico concentrado del 37 % ( $d = 1,19$ ) y 500 ml de agua destilada.

-*Disolución de hidróxido sódico 1%*: En unos 700 ml de agua destilada se disuelven 10 g de hidróxido sódico del 97% (lentejas). Una vez obtenida la disolución, se transvasa a un matraz aforado de 1.000 ml y se enrasa con agua destilada. Se conserva en recipiente de plástico.

-*Disolución de nitrato amónico 2%*: En unos 700 ml de agua destilada se disuelven 20 g de nitrato amónico cristalizado. Una vez obtenida la disolución, se transvasa a un matraz aforado de 1.000 ml y se enrasa con agua destilada.

## METÓDICA OPERATORIA

En un vaso de precipitados de 100 ml se pesan  $3 \pm 0,01$  g de la muestra a analizar, recogida y preparada según se ha indicado anteriormente.

Se adicionan lentamente 20 ml de la disolución de ácido clorhídrico. Se deja completar el ataque de la muestra a una temperatura cercana a la de ebullición y se filtra en caliente, a través de papel de filtro de porosidad media. Se lava el filtro repetidas veces con agua destilada caliente, hasta la ausencia total de carácter ácido del líquido filtrado. Tanto el filtrado como las "aguas" de lavado se recogen en un vaso de precipitados de 500 ml.

Al líquido se le añade una mezcla sólida constituida por 5 g de NaOH del 97% (lentejas) y 10 g de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y se diluye hasta unos 300 ml con agua.

Se hierve durante 30 minutos, con el vaso cubierto mediante un vidrio de reloj, reponiendo el agua que se vaya evaporando y, después de un reposo en caliente del precipitado formado durante 10 minutos, se filtra sobre un vaso de precipitados de 500 ml. El filtro con el residuo se lava cuatro veces con 20 ml de disolución de NaOH 1%, cada vez, y los lavados se reúnen con el primer filtrado.

El líquido resultante se neutraliza con ácido clorhídrico concentrado (37% y  $d = 1,19$ ) en presencia de rojo de metilo como indicador (viraje de amarillo a rojo); además, se adicionan unos 5 ml de ácido en exceso.

Se lleva a ebullición y se precipita el aluminio añadiendo, lentamente, amoníaco concentrado (25% y  $d = 0,91$ ), hasta un nuevo viraje al amarillo del indicador.

Se hierve unos minutos y, en caliente, se deja precipitar el óxido hidratado de aluminio (blanco y gelatinoso).<sup>3</sup>

Se filtra, sin enfriar, con papel de porosidad media y se lava cuatro veces con pequeños volúmenes de disolución acuosa caliente de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  al 2%.

Finalmente, el filtro con el residuo se recogen en un crisol de porcelana previamente tarado y el conjunto se calienta a  $1.000^\circ - 1.050^\circ\text{C}$ , hasta peso constante.

El aluminio se pesa como  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , con precisión de  $\pm 0,1$  mg.

## RESULTADOS

Por aplicación del método propuesto a 351 muestras distintas de hormigón y utilizando, en su caso, otros métodos (principalmente DRX) como referencia, se obtuvieron los siguientes resultados:

-Muestras con cemento aluminoso .....	90
- " sin " " " .....	261

La distribución de las muestras analizadas, en función de los contenidos en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  deducidos, se muestra en la tabla 1.

Las correspondientes representaciones gráficas conducen a las curvas del Gráfico 1, pudiéndose distinguir en ellas diversas zonas características:

1) *Gráfica perteneciente a las muestras con cemento aluminoso*

a) *Zona de concentraciones en  $Al_2O_3$  inferiores al 2,0%*

Se sitúan en ella las muestras aluminosas que contienen una dosificación en cemento muy baja (viguetas claramente fraudulentas).

b) *Zona de concentraciones en  $Al_2O_3$  comprendidas entre el 4,0% y 8,0%*. Abarca el mayor número de muestras aluminosas analizadas. Los hormigones manifiestan contenidos en cemento más adecuados a su función resistente.

2) *Gráfica perteneciente a las muestras sin cemento aluminoso*

a) *Zona de concentraciones en  $Al_2O_3$  inferiores al 2,0%*  
En esta zona están incluidas más de la mitad de las muestras no aluminosas analizadas. Se tratan de hormigones bastante "pobres" en cemento.

b) *Zona de concentraciones en  $Al_2O_3$  comprendidas entre el 2,0 % y 6,0 %* Abarca las muestras "ricas" en cemento y, por consiguiente, con mayores resistencias y menor porosidad.

## REPRODUCIBILIDAD

Con un límite de confianza del 95%, el estudio de la reproducibilidad del método gravimétrico proporcionó, para una determinada muestra aluminosa y a través de seis determinaciones independientes, un contenido medio en  $Al_2O_3$  de  $(6,2 \pm 0,25)$  % y una desviación estándar relativa del 1,7 %.

## TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DEL CONJUNTO DE RESULTADOS<sup>5</sup>

El estudio estadístico de los resultados obtenidos, para las 351 muestras analizadas mediante el método gravimétrico descrito, se ha realizado según dos situaciones de partida:

1) Suponer la ausencia de muestras aluminosas con un contenido en  $Al_2O_3$  inferior o igual al 1,0 %.

2) Tener en cuenta la presencia de estas muestras (consideradas como fraudulentas). Es el caso encontrado en la práctica.

### Situación 1

En este caso se ha podido comprobar que los porcentajes en óxido de aluminio inferiores al 8,0% de las muestras aluminosas, siguen una "distribución normal" ( $\mu = 5,4$ ;  $\sigma^2 = 0,72$ ).

TABLA 1

$Al_2O_3$ (%)	Número de Muestras <sup>4</sup>	
	con cemento aluminoso	Sin cemento aluminoso
menor o igual a 1,0	3	146
entre 1,0 y 2,0	0	35
entre 2,0 y 3,0	1	48
entre 3,0 y 4,0	5	26
entre 4,0 y 5,0	20	6
(entre 4,0 y 4,5)	(2)	(4)
(entre 4,5 y 5,0)	(18)	(2)
entre 5,0 y 6,0	39	0
entre 6,0 y 7,0	17	0
entre 7,0 y 8,0	1	0
entre 8,0 y 9,0	2	0
entre 9,0 y 10,0	1	0
entre 10,0 y 11,0	1	0

Según esta circunstancia y con los datos de la tabla 1, se pueden calcular los diversos errores de decisión, en función de los porcentajes de  $Al_2O_3$  de las muestras. En el gráfico 2 aparecen los resultados obtenidos, a través de dos gráficas que corresponden, respectivamente, a las muestras consideradas aluminosas o sin cemento aluminoso.

### Situación 2

Teniendo en cuenta la presencia de muestras aluminosas con  $\% Al_2O_3 \leq 1,0$ , los porcentajes de óxido de aluminio de las muestras aluminosas ya no siguen una “distribución normal” y conducen, para muestras no aluminosas, a errores de fiabilidad superiores a los del caso anterior. El gráfico 3 muestra los resultados obtenidos.

## CONCLUSIONES

Las conclusiones más importantes que se pueden deducir del estudio estadístico, con un límite de confianza del 99,9%, son las siguientes:

1) En el supuesto de la ausencia de viguetas con un contenido en  $Al_2O_3 \leq 1,0 \%$

No es el caso real que hemos encontrado, pero, con todo, los resultados que se obtienen pueden tener interés desde el punto de vista teórico y comparativo.

a) Se puede decir que una vigueta será **NO ALUMINOSA** cuando

$$\% Al_2O_3 < X_i$$

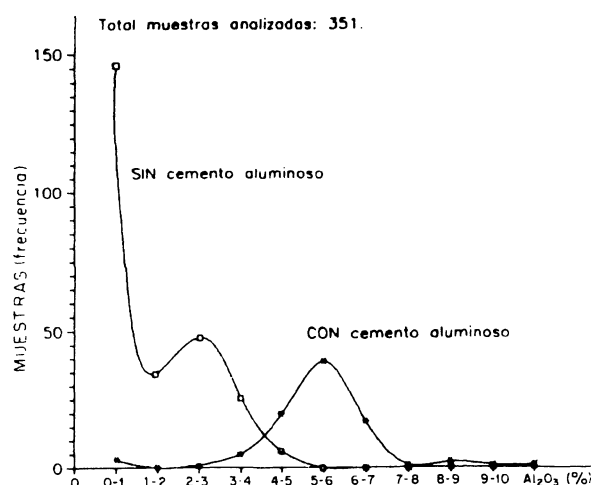


Gráfico 1.- Determinación gravimétrica de óxido de aluminio

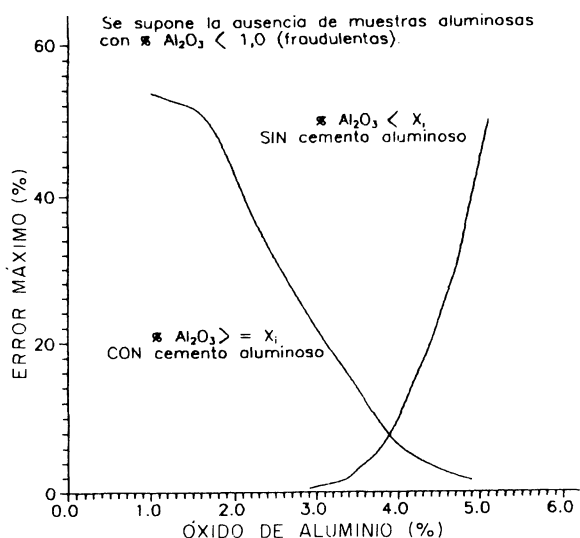


Gráfico 2.- Variación del riesgo máximo de las decisiones en función del % de óxido de aluminio. (Límite de confianza = 99,9 %)

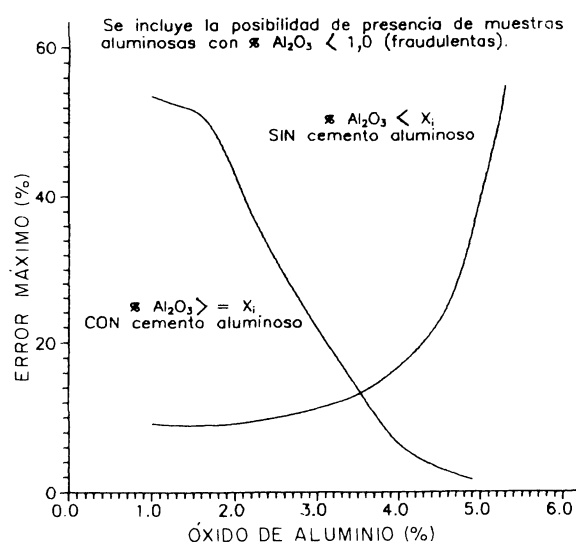


Gráfico 3.- Variación del riesgo máximo de las decisiones en función del % de óxido de aluminio. (Límite de confianza = 99,9 %)

Para cada valor de  $X_i$  se obtiene un valor del error máximo de equivocación (gráfico 2, curva de la derecha).

Así, como casos concretos más interesantes, tenemos:

- Si  $\% \text{Al}_2\text{O}_3 < 4,6$ , el error máximo resulta del 25%.
- Si  $\% \text{Al}_2\text{O}_3 < 4,0$ , el máximo error es del 10%.
- Si  $\% \text{Al}_2\text{O}_3 < 3,7$ , el error pasa a ser del 5%.
- Si  $\% \text{Al}_2\text{O}_3 < 3,1$ , el error baja hasta el 1%.

b) Por otra parte, se dirá que *una vigueta es ALUMINOSA* cuando

$$\% \text{Al}_2\text{O}_3 \geq X_i$$

También, a cada valor de  $X_i$  le corresponde un valor del error máximo (gráfico 2, curva de la izquierda).

Como casos concretos de interés, tenemos:

- Si  $\% \text{Al}_2\text{O}_3 \geq 2,8$ , el error máximo resulta del 25%.
- Si  $\% \text{Al}_2\text{O}_3 \geq 3,7$ , el máximo error es del 10%.
- Si  $\% \text{Al}_2\text{O}_3 \geq 4,2$ , el error pasa al 5%.
- Si  $\% \text{Al}_2\text{O}_3 \geq 4,9$ , el error ya es, sólo, del 1%.
- Si  $\% \text{Al}_2\text{O}_3 > 5,0$ , no hay riesgo de equivocación, porque, de todas las muestras analizadas, no se ha encontrado ninguna que fuera "no aluminosa" con estos contenidos en óxido de aluminio. De todas maneras, sería más correcto asignar un error máximo pequeño; por ejemplo, del orden del 1%.

2) Considerando la posibilidad de existencia de viguetas aluminosas con un contenido en  $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 1,0\%$

Es el caso que nos hemos encontrado en la práctica y, por tanto, los resultados que se deducen se corresponden más con la realidad.

a) Se puede decir que *una vigueta será NO ALUMINOSA* cuando

$$\% \text{Al}_2\text{O}_3 < X_i$$

Para cada valor de  $X_i$ , como se puede ver en el gráfico 3 (curva de la derecha), hay un valor del error máximo de equivocarse.

Así, como casos más interesantes, se indican:

- Si  $\% \text{Al}_2\text{O}_3 < 4,6$ , el error máximo resulta del 25%.
- Si  $\% \text{Al}_2\text{O}_3 < 2,7$ , el máximo error es del 10%.
- No se pueden obtener nunca errores inferiores al 9,2%, que corresponde a  $\% \text{Al}_2\text{O}_3 < 1,0\%$ .

b) Por otro lado, se puede decir que *una vigueta es ALUMINOSA* cuando

$$\% \text{Al}_2\text{O}_3 \geq X_i$$

También, a cada valor de  $X_i$  le corresponde un valor del error máximo (gráfico 3, curva de la izquierda).

Este caso coincide exactamente con el del apartado 1, ya que, aquí, no tiene influencia la presencia de las viguetas fraudulentas.

Por tanto, como casos de interés, se pueden indicar los ya expuestos en el apartado anterior.

## DISCUSIÓN

La aplicabilidad de este método a la detección de la presencia o no de cemento aluminoso en hormigones implica, necesariamente, que el aluminio presente en los mismos proceda únicamente del cemento. Por tanto, la utilización más inmediata del método será en hormigones con áridos claramente calizos o silíceos, en los cuales la concentración del metal es prácticamente nula.

Para hormigones con áridos presumiblemente aluminosos deben realizarse previamente ensayos de identificación complementarios sobre la "pasta" del hormigón (zona rica en cemento o cemento-arena), utilizando métodos como el de la "oxina" o, mejor, el nuevo método cualitativo puesto a punto por nosotros<sup>1</sup>, o el ensayo por Difracción de Rayos X, como más importantes.

En el caso de muestras de hormigón de cemento aluminoso con muy bajo contenido en este cemento, pueden obtenerse resultados erróneos, ya que la concentración de aluminio deducida por aplicación del método será muy pequeña. Entonces, también se debe acudir al auxilio de métodos cualitativos complementarios.

## CONCLUSIONES

Se presenta un método gravimétrico rápido para la determinación de aluminio en hormigones (y muestras similares), con un suficiente nivel de precisión y seguridad.

Excepto en los casos que se indican más adelante, el método puede ser utilizado para detectar la existencia o no de cemento aluminoso en hormigones, en función solamente de los contenidos en óxido de aluminio deducidos.

De acuerdo con el estudio estadístico aplicado a los resultados obtenidos de 351 muestras, se pueden asignar diferentes errores a las decisiones, en función de los intervalos de concentraciones de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  considerados.

Por otra parte, la aplicabilidad del método es cuestionable únicamente en los siguientes casos:

- a) Cuando están presentes en el hormigón áridos con un significativo contenido en aluminio.<sup>6</sup>
- b) En hormigones de cemento aluminoso con muy bajo contenido en cemento.<sup>7</sup>

## AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer, sinceramente, la desinteresada colaboración de los Sres. J. Ginard y J. Pons, del Institut Balear d'Estadística, del Govern Balear, en la realización del estudio estadístico de los resultados de los análisis.



## NOTAS

(1) 1ª parte, pág. 29.

(2) Ciertas especies químicas presentes en la muestra - principalmente sulfatos, sílice no separada en el ataque clorhídrico inicial y, en algunos casos, pequeñas cantidades de titanio, vanadio, ...- no se retienen por precipitación con  $\text{CO}_3^{2-}/\text{NaOH}$  y pasan a la disolución alcalina junto con el aluminio. De ellas, podrían interferir Ti y V, pero la diferencia de concentraciones con respecto al aluminio hace que su influencia en el resultado final sea perfectamente despreciable.

(3) Cuando se requiere mayor precisión en los resultados y, sobre todo, en los casos en que se forma poco precipitado, conviene dejar reposar, en estas condiciones, unas 12 horas.

(4) Se ha encontrado un pequeño número de muestras que, aun siendo aluminosas, presentan un contenido en aluminio muy bajo, a consecuencia de su mínima dosificación en cemento.

(5) El estudio estadístico de los resultados se realizó en el Institut Balear d'Estadística.

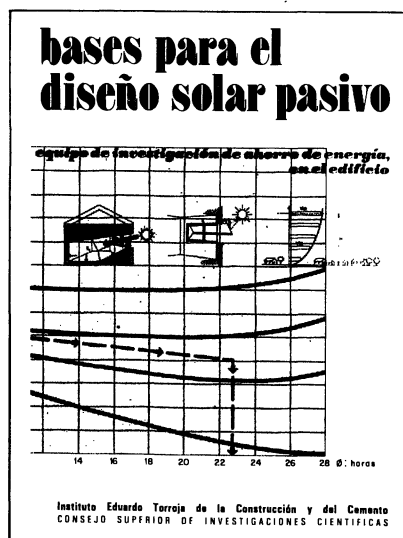
(6) Caso muy improbable en Baleares, región en donde se ha aplicado el método.

(7) Considerando que el conocimiento de la presencia de cemento aluminoso tiene especial interés en hormigones de viguetas armadas -elementos en donde se dan, mayoritariamente, las patologías inherentes a este cemento-, no es probable encontrar en estos elementos constructivos, y salvo en casos claramente fraudulentos, hormigones muy pobres en cemento.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] "Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para la Recepción de Cementos". B.O.E. nº 207, págs. 18.299-18.300 (29 agosto 1975).
- [2] KOLTHOFF, I.M.; SANDELL, E.B.; "Tratado de Química Analítica Cuantitativa", págs. 388-389. Ed. Nigar. Buenos Aires (1965).
- [3] Building Research Establishment, CP34, 1975.

## publicación del ICCET/CSIC



Equipo de Ahorro de Energía en el edificio

Dirección y coordinación:  
Arturo García Arroyo

M.ª José Escorihuela  
José Luis Esteban  
José Miguel Frutos  
Manuel Olaya  
Bernardo Torroja

selectividad en la aplicación de los sistemas y procedimientos pasivos dando origen a un ecumenismo arquitectónico solar, al margen de las condiciones climáticas y funcionales específicas de cada caso y lugar.

En este libro, utilizando criterios y metodología pedagógicos, se dan los fundamentos e instrumentos teórico-prácticos necesarios para el planteamiento de todo proyecto arquitectónico solar pasivo, de acuerdo con los principios éticos y económicos de conservación y ahorro de energía. Es decir: respeto de los presupuestos bioclimáticos, búsqueda de la máxima captación y acumulación de la radiación solar, y esmero en el aislamiento térmico de los cerramientos.

Un volumen encuadernado en cartulina ibiza plastificada, a cinco colores, de 16 x 23 cm, compuesto de 216 páginas, 217 figuras, 87 gráficos, 19 tablas y 10 cuadros.

Las dificultades de suministro y el alto coste de los productos energéticos convencionales han despertado la atención de los usuarios, técnicos e industriales de la edificación hacia los procedimientos y sistemas en que se basa el aprovechamiento de otras fuentes alternativas de energía, principalmente la solar. Esto ha generado un rápido desarrollo industrial y comercial que, en opinión de los autores de este libro, arrastran los siguientes defectos: un mimético tecnologismo respecto de los sistemas convencionales que violenta las peculiaridades de la energía solar (baja densidad y variabilidad en el tiempo), y una escasa